

PERBAIKAN RANCANGAN KRUK KETIAK UNTUK PENDERITA CEDERA DAN CACAT KAKI

Alfadhlani¹, Yumi Meuthia¹, Dolly Filius Valent²

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Andalas

2) Mahasiswa Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Andalas

Email: yumi@ft.unand.ac.id

Abstrak

Kruk merupakan tongkat/alat bantu berjalan untuk orang yang memiliki keterbatasan fisik karena cacat atau cedera, biasanya digunakan secara berpasangan untuk mengatur keseimbangan tubuh saat berjalan. Kruk biasanya terdiri dari dua jenis yaitu kruk ketiak (*Axillary Crutch*) dan kruk lengan bawah (*Forearm Crutch*). Kruk ketiak pada umumnya terbuat dari aluminium karena berat jenisnya yang relatif ringan, namun memiliki kekuatan mekanik yang relatif rendah, sehingga pada beberapa kasus kruk aluminium mengalami bengkok saat digunakan. Kruk ketiak yang diusulkan oleh [1] dan [2] kurang praktis untuk dibawa, penutup kruk yang licin dan mudah rusak, serta ketinggiannya yang tidak mudah diatur sesuai keinginan. Pada makalah ini dilakukan studi untuk mengusulkan alternatif material pengganti yang lebih kuat dan sekaligus mengatasi masalah kekurangan kruk yang diusulkan oleh peneliti sebelumnya. Material yang dipertimbangkan dalam kajian adalah aluminium, baja karbon, dan stainless steel. Material terpilih untuk diusulkan sebagai material pengganti adalah stainless steel, penggunaan material ini dapat mereduksi bobot kruk sebanyak 28,6% dari 1,75 kg menjadi 1,25 kg. Agar kruk praktis dibawa, diusulkan sistem geser dengan tiga komponen penyusun utama yaitu tiang penyesuai jangkauan, tiang utama dan tiang penyesuai ketinggian, dengan sistem ini kruk memiliki panjang yang bisa disesuaikan yaitu panjang minimal 100 cm dan panjang maksimal 150 cm. Tiang utama kruk dibagi menjadi dua bagian, panjang masing-masing tiang utama adalah 50 cm dan 45 cm sehingga lebih mudah dilipat untuk disimpan dan dibawa. Penutup ujung kruk menggunakan karet agar tidak licin, karet tersebut dimasukkan ke dalam pipa tiang utama sehingga lebih tahan terhadap tekanan. Pegangan kruk dirancang dengan kemiringan yang bisa disesuaikan, rasio penyesuaian kemiringan yaitu $14,4^\circ$ agar posisi tangan dan pergelangan tangan lebih baik dan nyaman saat penggunaan, tetapi derajat kemiringan kruk rancangan ini masih lebih besar $2,4^\circ$ jika dibandingkan dengan kemiringan yang ergonomis yaitu sebesar 12° .

Keywords: : kruk, cacat, cedera, ergonomis

1. PENDAHULUAN

Kruk merupakan tongkat yang digunakan sebagai alat bantu berjalan untuk orang cacat atau cedera sehingga mengalami kesulitan untuk berjalan. Kruk terbagi atas dua jenis berdasarkan cara pemakaiannya yaitu: kruk ketiak (*Axillary Crutch*) yang digunakan dengan cara dijepit diketiak, kruk lengan bawah (*Forearm Crutch*) yang tingginya hanya sampai siku.

[1] mengusulkan konsep rancangan kruk berdasarkan keinginan pengguna hasil studinya yaitu:

1. Kruk yang praktis digunakan
 - Praktis dibawa
 - Ketinggian yang dapat diatur sesuai keinginan
2. Kruk yang nyaman digunakan
 - Ergonomis

- Tidak licin
3. Terbuat dari material yang berkualitas dan kuat

[1] tidak membuat prototipe alat yang siap untuk diuji. [2] mengusulkan pula rancangan kruk dan membuat prototipe yang mengacu pada konsep rancangan [1], namun dari hasil pengujian diketahui bahwa:

1. Kruk yang dirancang tidak fleksibel untuk dibawa, bobot kruk lebih berat yaitu 1,75 kg jika dibanding dengan berat kruk yang terdapat di pasaran yaitu sebesar 0,8 – 1,25 kg.
2. Material yang digunakan sebagai penutup pada ujung penutup kruk terbuat dari karet atau kayu, namun ternyata karet ini mudah rusak, sementara jika menggunakan kayu, menyebabkan kruk licin dan mudah slip.

3. Ketinggian kruk dapat disesuaikan, namun penyesuaian ini membutuhkan alat untuk membuka dan memasang baut, sehingga kurang praktis, selain itu ketinggian kruk juga sudah ditentukan berdasarkan pilihan lubang-lubang pada batang kruk yang telah tersedia. Jika posisi lubang tak sesuai dengan tinggi pengguna akan membuat bahu pengguna miring sehingga tidak nyaman digunakan dan jika terlalu tinggi akan membuat saraf dan pembuluh darah tertekan.

Pada satu kasus bahwa terjadi trauma berulang-ulang pada arteri aksilaris yang menyebabkan penyempitan atau pembengkakan pembuluh darah pada pasien yang telah menggunakan kruk selama 10 tahun, penyempitan arteri terjadi karena penempatan berat badan yang tidak tepat pada bantalan kruk [3].

Makalah ini menjelaskan tentang studi yang dilakukan untuk mengusulkan alternatif material untuk pembuatan kruk agar lebih kuat dan sekaligus mengatasi masalah kekurangan rancangan kruk yang diusulkan [1] dan [2], agar kruk lebih praktis untuk dibawa, penutup kruk tidak licin dan tidak mudah rusak, serta ketinggian yang mudah diatur sesuai keinginan

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kruk Ketiak

Tingginya penderita cacat fisik pada klasifikasi penggunaan kaki terutama pada usia produktif membuat berbagai pihak berupaya untuk berinovasi untuk mendapatkan rancangan alat bantu, salah satu alat bantu tersebut adalah alat bantu berjalan yang ergonomis dan nyaman untuk penggunaanya dalam beraktifitas. Pada dasarnya alat bantu berjalan dibedakan menjadi enam jenis yaitu walker, tripod, kruk, kursi roda, kaki palsu, dan tongkat.

Makalah ini membahas kruk sebagai objek penelitian, kruk terbagi atas dua jenis yaitu (lihat Gambar 1):



Gambar 1. Kruk Ketiak (kiri) dan Kruk Lengan Bawah (kanan)

1. Kruk Ketiak (*Axillary Crutch*)

Digunakan dengan cara dijepit diketiak. Berat badan bertumpu pada ketiak sehingga tidak dapat digunakan dalam jangka waktu lama untuk menopang tubuh.

2. Kruk Lengan Bawah (*Forearm Crutch*)

Kruk ini hampir sama dengan tongkat tetapi terdapat perpanjangan hingga siku.

Kruk sebagai alat bantu berjalan haruslah dapat memenuhi kenyamanan dan meringankan kendala yang dialami pengguna, Tabel 1 memperlihatkan sejumlah keluhan dan keinginan pengguna kruk berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [1].

Tabel 1. Pernyataan Keinginan Pengguna

Pertanyaan	Jawaban	Interpretasi
Kendala yang sering terjadi	1 Ketiak sakit	1 Alat yang adjustable
	2 Tumpuan ketiak keras	2 Bahan lebih empuk
	3 Alatnya ketinggian	3 Alat yang adjustable
	4 Ketiak terasa sakit	4 Bahan lebih empuk
	5 Sering terpeleset	5 Penutup alas yang tidak licin
	6 Alas gampang pecah	6 Penutup alas yang kuat
	7 Kaki cepat pegal	7 Alat yang adjustable
	8 Ketiak sering lecet	8 Tumpuan ketiak yang nyaman
	9 Cepat capek	9 Alat yang adjustable
	10 Alas cepat rusak	10 Penutup alas yang tahan lama
	11 Kurang nyaman	11 Alat yang ergonomis
Kekurangan alat	1 Tidak praktis dalam pembawaan	1 Alat yang praktis dibawa
	2 Kurang ergonomis	2 Alat yang nyaman dipakai
	3 Tidak semua pemakai bisa menggunakan	3 Alat yang adjustable
	4 Terlalu panjang	4 Alat yang bisa dipendekin

	5 Ribet membawa 6 Tidak bisa diwariskan 7 Ukuran kurang pas 8 Landasan pada ketiak kurang empuk 9 Bahan mudah bengkok 10 Alat terlalu panjang sehingga sulit membawa 11 Harga terlalu berat	5 Alat yang mudah dibawa 6 Alat yang adjustable 7 Setelan alat yang ukuran pas 8 Bahan lebih empuk 9 Alat yang kuat 10 Alat yang praktis dibawa 11 Harga alat yang murah
Usulan perbaikan	1 Lebih simple, ringkas 2 Dibuat ringkas 3 Landasan ketiak dibuat empuk 4 Bahan yang ringan dan kuat 5 Bentuk diperbaiki agar simple 6 Tumpuan lebih empuk 7 Bisa dipendekin biar praktis 8 Ukuran bisa disesuaikan secara otomatis	1 Desain alat yang simple 2 Desain alat yang ringkas 3 Bahan diganti yang lebih empuk 4 Kualitas bahan yang bagus 5 Model yang lebih simple 6 Bahan diganti yang lebih empuk 7 Alat yang bisa disetel lebih pendek 8 Ukuran alat yang bisa disetel otomatis

(Sumber: Fitriadi, 2008)

Berdasarkan pernyataan keinginan pengguna yang dikumpulkan oleh [1] dan pengujian prototipe kruk yang dilakukan [2], maka terdapat beberapa keinginan pengguna yang belum terpenuhi yaitu: alas atau karet penutup ujung mudah pecah, sering terpeleset, kurang praktis dalam pembawaan, dan ukuran kurang pas.

Untuk itu penelitian [1] dan [2] perlu dilanjutkan agar memenuhi keinginan pelanggan yaitu kruk yang lebih praktis dibawa, dengan penutup ujung yang tidak licin dan tidak mudah rusak, dan ketinggiannya yang lebih mudah diatur.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Penelitian Pendahuluan

Tahap penelitian pendahuluan dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kelebihan dan kekurangan atau permasalahan pada rancangan penelitian sebelumnya sehingga didapat data awal dari rancangan yang akan dilakukan. Studi literatur ini menjadi dasar pula untuk

melakukan usulan perbaikan rancangan kruk.

3.2 Tahap-Tahap Perancangan

Perancangan kruk dilakukan melalui tahapan berikut ini:

a) Pengumpulan data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data karakteristik alternatif material pengganti dan data antropometri. Data antropometri yang digunakan adalah data statis lebar telapak tangan, tinggi ketiak, jangkauan tangan, lebar lengan dan berat badan.

b) Perancangan Produk Usulan

Pada tahap ini ditentukan konsep rancangan, material yang digunakan, dimensi produk dan mekanisme pengunci untuk penyesuaian ketinggian. Konsep rancangan didasari pada hasil indentifikasi keinginan pengguna hasil penelitian [1] dan [2]. Alternatif material pengganti dikaji dengan membandingkan karakteristik aluminium, baja karbon, dan stainless steel. Material ini dipertimbangkan karena ketersediaan di pasaran dan karakteristik material itu sendiri. Data karakteristik alternatif material dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data karekteristik material

Jenis Material	Aluminium	Baja karbon	<i>Stainless steel</i>
Berat Jenis (g/cm ³)	2,73	7,85	7,81
Modulus Elastisitas (GPa)	68,9	200	197
Tegangan Luluh (<i>Yield Strength</i>) (MPa)	41,4	205	397
Tegangan Tarik Kritis (<i>Ultimate Tensile Strength</i>)(MPa)	110	330	758

(Sumber: : www.MatWeb.com)

kriteria yang dibutuhkan sebagai bahan pembuatan kruk adalah material yang memiliki kemampuan mekanik yang baik, ringan, tahan karat, dan mudah dalam perawatan. Berdasarkan Tabel 2 maka dapat diketahui hal-hal berikut:

- *Stainless steel* memiliki kekuatan yang paling baik di antara dua material lainnya, hal ini terlihat dari tegangan luluhnya (*yield strength*) hingga 397 MPa

dan tegangan tarik kritis (*ultimate tensile strength*) sebesar 758 MPa, demikian material ini dapat menahan beban hingga 397 MPa sampai terjadi deformasi plastis (bengkok) dan mengalami patah pada tekanan 758 MPa.

- *Stainless steel* tahan karat (korosi) dan mudah dalam perawatan. Karat pada logam dapat dihindari dengan pengecatan, tetapi cat hanya pelapis yang tidak tahan terhadap gesekan tangan, cat akan menipis dan mengelupas jika terus tersentuh tangan.

Konsep rancangan produk yang diusulkan di verifikasi untuk memastikan bahwa spesifikasi produk sudah sesuai dengan keinginan pengguna.

Rancangan ini dilengkapi pula dengan Pembuatan Prototipe produk lalu dilakukan validasi rancangan dengan cara pemakaian alat secara langsung oleh pengguna, lalu dimintakan respon mereka menggunakan kuesioner berdasarkan karakteristik Garvin.

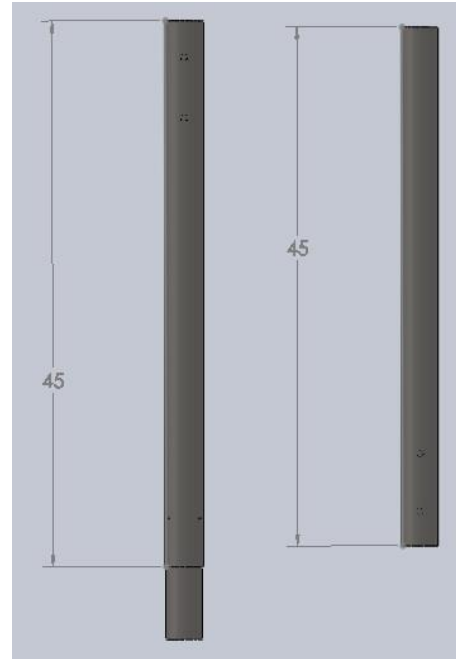
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Kruk

Dimensi komponen produk yang dirancang berdasarkan data variabel antropometri, komponen-komponen tersebut adalah:

a) Tiang utama

Tiang utama dibagi menjadi dua bagian yaitu: tiang utama bagian atas, dan tiang utama bagian bawah. Pembagian tiang utama menjadi dua bagian ditujukan agar mudah untuk dibawa dan disimpan. Tiang utama bagian atas memiliki ukuran 50 cm dan tiang utama bagian bawah berukuran 45 cm, ukuran ini dibuat mempertimbangkan: 1) data antropometri tinggi ketiak persentil ke-5 yaitu 119,24 cm dan persentil ke-99 sebesar 141,17 cm; dan 2) faktor keamanan sambungan dan ukuran untuk tiang penyesuai jangkauan dan tiang penyesuai ketinggian. Rancangan tiang utama dapat dilihat pada Gambar 2.

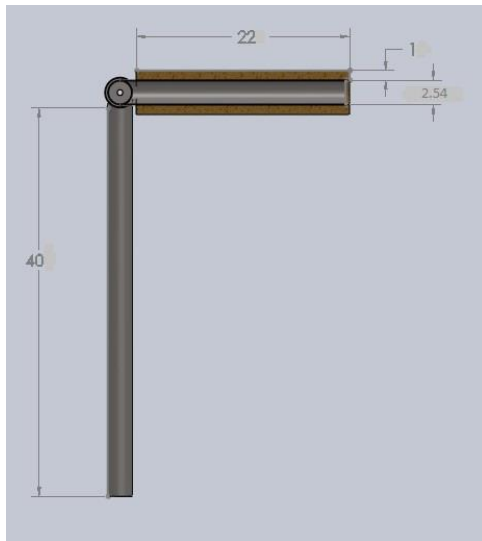


Gambar 2. Tiang Utama

b) Bantalan Alas dan Tiang Penyesuai Jangkauan

Bantalan alas menggunakan data variabel antropometri lebar lengan persentil ke-99 dengan ukuran 13,38 cm dan ditambah toleransi sebesar 8,62 cm sehingga menjadi 22 cm. Pemberian toleransi ukuran bertujuan untuk memberi kenyamanan dan keleluasaan pada saat digunakan. Tiang penyesuai jangkauan mempunyai ukuran sebesar 30 cm, ditambah 10 cm untuk kunci dan faktor keamanan sambungan. Ukuran tiang penyesuai jangkauan ini mempertimbangkan ukuran tiang utama, data antropometri jangkauan tangan persentil 5 yaitu 47,34 cm dan persentil 99 yaitu 61,20 cm, data antropometri tinggi ketiak persentil ke-99 yaitu 141,17 cm, serta pertimbangan kemudahan membawa dan penyetelan.

Bantalan alas dibalut busa dengan ketebalan 1 cm untuk kenyamanan dan mengurangi rasa sakit pada saat digunakan. Gambar penampang bantalan alas dan tiang penyesuai jangkauan dapat dilihat pada Gambar 3.

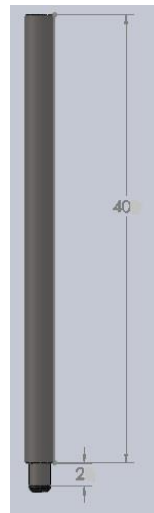


Gambar 3. Penampang bantalan alas dan tiang penyesuai jangkauan

c) Tiang Penyesuai Ketinggian

Sama halnya dengan tiang penyesuai jangkauan, tiang penyesuai ketinggian ini mempunyai panjang 30 cm ditambah 10 cm untuk faktor keamanan sambungan, ukuran panjang tiang ini didapat dari pertimbangan ukuran tiang utama, panjang sambungan tiang utama dan data antropometri tinggi ketiak persentil ke-99 yaitu 141,17 cm.

Tiang Penyesuai Ketinggian ini di rancang dengan ukuran ujung tiang yang lebih kecil berdiameter 0,75 inch (1,9 cm) dan panjang 2 cm, pemberian ujung tiang yang lebih kecil bertujuan untuk penempatan karet penutup agar pada saat digunakan kruk tidak mudah slip karena licin. Karet penutup ujung dimasukkan ke dalam pipa sehingga kruk tidak cepat rusak walaupun diberi beban berlebih. Gambar tiang penyesuai jangkauan dan karet penutup ujung dapat dilihat pada Gambar 4.



a. Tiang penyesuai

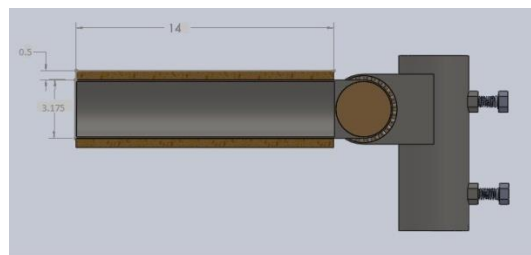


b. Karet penutup ujung

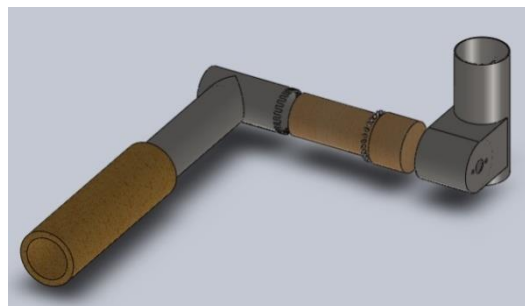
Gambar 4. Tiang penyesuai ketinggian dan karet penutup ujung

d) Pegangan Kruk

Ukuran pegangan kruk ditentukan berdasarkan variabel antropometri lebar telapak tangan persentil ke-99 dengan ukuran 12,28 cm namun agar lebih nyaman direkomendasikan untuk dibulatkan menjadi 14 cm. Busa yang digunakan adalah busa dengan grid agar posisi jari lebih baik dan gengaman lebih pas. Gambar penampang pegangan kruk dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



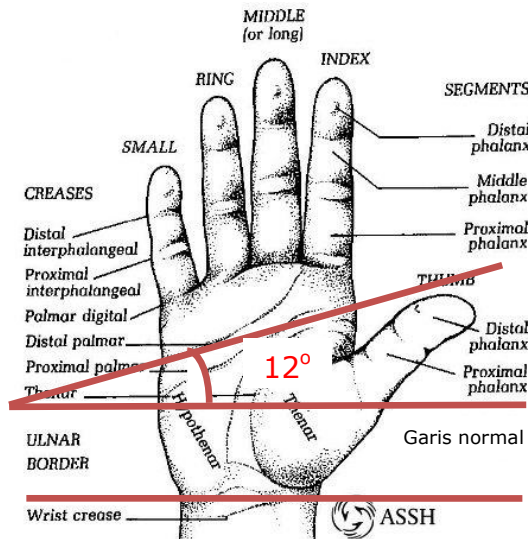
Gambar 5. Penampang pegangan kruk



Gambar 6. Pegangan kruk

Pegangan kruk memiliki alat tambahan yang dirancang agar kemiringannya diatur

dengan rasio kemiringan $14,4^\circ$, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7. Rasio kemiringan ini lebih besar $2,4^\circ$ dibandingkan dengan kemiringan yang ergonomis yaitu sebesar 12° . Kemiringan 12° didapat dari penarikan garis lurus garis telapak tangan dengan patokan garis normal berada pada pergelangan tangan seperti yang terlihat.



Gambar 7. Telapak tangan

Mekanisme pengunci kruk yang digunakan adalah dengan sistem baut sebagai penjepit tiang penyesuai. Hal ini dipilih agar dapat dilakukan penyesuaian pegangan kruk dengan ketinggian pengguna, lihat Gambar 5.

4.2 Perhitungan Gaya Pada Kruk Rancangan

Perhitungan gaya yang terjadi pada rancangan bertujuan untuk mengetahui beban maksimal yang bisa ditopang oleh kruk. Jenis material yang digunakan adalah *stainless steel* AISI 201 dengan ketebalan pipa 0,8 mm.

Data komponen kruk rancangan usulan dan tegangan yang dialami kruk tiap bagian rancangannya adalah sebagai berikut:

1. Tiang Utama

Tiang utama terbagi atas dua bagian yang dihubungkan oleh soket. Panjang tiang utama adalah 45 cm (450 mm) ditambah sambungan 6 cm (60 mm) dan 45 cm (450 mm) dengan diameter pipa 1,5 inchi (31,75 mm). Perhitungan pembebanan yang dialami tiang utama dengan besar gaya 80 kg atau 784,8 N pada percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$ sebagai berikut:

- Momen tiang utama

$$\begin{aligned} M &= Fl \\ &= 784,8 \text{ N} \times 450 \text{ mm} \\ &= 353160 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

dimana:

M adalah momen

F adalah gaya

l adalah jarak titik gaya ke tumpuan

- Momen inersia

$$I_p = \frac{\pi d^3 t}{4} = \frac{\pi 30,15^3 0,8}{4} = 17211,6 \text{ mm}^4$$

- Tegangan pada tiang utama

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{M \left(\frac{d_2}{2} \right)}{I_p} = \frac{353160 \text{ N-mm} \times \left(\frac{31,75 \text{ mm}}{2} \right)}{17211,6 \text{ mm}^4} \\ &= 325,734 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Bantalan alas kruk menggunakan pipa *stainless steel* AISI 201 dengan ukuran 1 inchi (25,4 mm) dengan panjang 22 cm (220 mm), pembebanan yang diberikan pada tiang penyesuai adalah 45 kg atau 441,45 N pada percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$ karena gaya yang terjadi karena berat badan juga didistribusikan ke pegangan tangan kruk dan gaya terjadi pada bagian tengah bantalan atau pada titik $\pm 11 \text{ cm}$ (110 mm). Gaya yang terjadi pada bantalan alas adalah sebagai berikut:

- Momen bantalan alas

$$\begin{aligned} M &= Fl \\ &= 441,45 \text{ N} \times 110 \text{ mm} \\ &= 48559,5 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

- Momen inersia

$$I_p = \frac{\pi d^3 t}{4} = \frac{\pi 23,8^3 0,8}{4} = 8466,24 \text{ mm}^4$$

- Tegangan tekuk pada bantalan alas

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{M \left(\frac{d_2}{2} \right)}{I_p} \\ &= \frac{48559,5 \text{ N-mm} \times \left(\frac{25,4 \text{ mm}}{2} \right)}{8466,24 \text{ mm}^4} \\ &= 72,84 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan pada baut

$$\sigma = \frac{F}{nA} = \frac{48559,5}{2(\pi 3^2)} = 859,15 \text{ MPa}$$

Pada tiang penyesuai jangkauan, gaya terjadi pada ujung tiang sebesar 441,45 N dan merupakan tempat sambungan antara bantalan alas dan tiang penyesuai jangkauan. Panjang tiang jangkauan adalah 40 cm (400 mm) dengan diameter pipa 1 inchi (25,4

mm), panjang tiang yang mengalami pembebanan adalah 30 cm (300 mm). Penampang tiang penyesuai jangkauan dapat dilihat pada Gambar 4a. Perhitungan pembebanan yang dialami tiang penyesuai jangkauan sebagai berikut:

- Momen tiang penyesuai jangkauan

$$M = Fl$$

$$= 441,45 \text{ N} \times 300 \text{ mm}$$

$$= 132435 \text{ N-mm}$$

- Momen inersia

$$I_p = \frac{\pi d^4 t}{4} = \frac{\pi 23,8^4 0,8}{4} = 8466,24 \text{ mm}^4$$

- Tegangan tekuk pada tiang penyesuai jangkauan

$$f_b = \frac{M(\frac{d_2}{2})}{I_p}$$

$$= \frac{235440 \text{ N-mm} \times (\frac{25,4 \text{ mm}}{2})}{8466,24 \text{ mm}^4}$$

$$= 198,663 \text{ MPa}$$

3. Tiang Penyesuai Ketinggian

Tiang penyesuai jangkauan berada pada bagian bawah kruk, tiang ini mempunyai panjang 40 cm (400 mm). Pipa yang digunakan adalah pipa 1 inchi (25,4 mm) dengan ketebalan 0,8 mm. beban yang diberikan pada tiang adalah 80 kg atau 784,8 Nm pada jarak 30 cm (300 mm) dari ujung kruk. Berikut adalah perhitungan gaya yang terjadi dan pembebanan yang terjadi pada tiang penyesuai ketinggian.

- Momen tiang penyesuai ketinggian

$$M = Fl$$

$$= 784,8 \text{ N} \times 300 \text{ mm}$$

$$= 235440 \text{ N-mm}$$

- Momen inersia

$$I_p = \frac{\pi d^4 t}{4} = \frac{\pi 23,8^4 0,8}{4} = 466,24 \text{ mm}^4$$

- Tegangan pada tiang penyesuai ketinggian

$$f_b = \frac{M(\frac{d_2}{2})}{I_p}$$

$$= \frac{235440 \text{ N-mm} \times (\frac{25,4 \text{ mm}}{2})}{8466,24 \text{ mm}^4}$$

$$= 353,178 \text{ MPa}$$

4. Pegangan Kruk

Pegangan kruk terdiri dari tiga bagian yaitu bagian yang terhubung ke tiang utama, gigi pengunci sebagai tumpuan untuk mengatur kemiringan dan bagian pegangan. Pegangan kruk berdiameter 1,25 inchi (31,75 mm) dengan ketebalan pipa 0,8 mm dan panjang pegangan

adalah 14 cm (140 mm). Beban yang diberikan pada pegangan sebesar 80 kg atau 784,8 N pada percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$ dengan jarak $\pm 7 \text{ cm}$ (70 mm) dari titik tumpuan. Berikut adalah gaya yang dialami pegangan kruk:

- Momen pegangan kruk

$$M = Fl$$

$$= 784,8 \text{ N} \times 70 \text{ mm}$$

$$= 54936 \text{ N-mm}$$

- Momen inersia

$$I_p = \frac{\pi d^4 t}{4} = \frac{\pi 30,15^4 0,8}{4}$$

$$= 17211,6 \text{ mm}^4$$

- Tegangan pada pegangan kruk

$$f_b = \frac{M(\frac{d_2}{2})}{I_p} = \frac{54936 \text{ N-mm} \times (\frac{31,75 \text{ mm}}{2})}{17211,6 \text{ mm}^4}$$

$$= 50,67 \text{ MPa}$$

Tegangan luluh material *stainless steel* AISI 201 adalah 397 MPa sedangkan tegangan yang dialami kruk rancangan usulan adalah:

1. Tiang utama: 325,734 MPa
2. Bantalan alas: 129,499 MPa
3. Tiang penyesuai jangkauan : 353,178 MPa
4. Tiang penyesuai ketinggian : 353,178 MPa
5. Pegangan kruk: 50,67 MPa
6. Tegangan pada baut: 859,15 MPa

Karena beban yang dialami kruk rancangan usulan lebih kecil dari tegangan luluh material (397 MPa) dan tegangan luluh baut sebesar 450 MPa dan kekuatan puntir baut adalah 45000 N-mm (www.volkbolts.com) maka dapat disimpulkan bahwa material aman untuk digunakan. Rancangan pada gigi penahan pegangan dan karet penutup ujung langsung ketahap pembuatan prototipe setelah tahap konseptual rancangan dan tidak dilakukan penghitungan gaya karena sudah ada rancangan rujukan, kompleksitasnya yang rendah dan material yang digunakan dapat di *rework*.

4.3 Tahap Pembuatan Prototipe

Pembuatan prototipe dilakukan dalam tiga tahap pengerjaan, yaitu: pengukuran, pemotongan, dan perakitan. Tahap-tahap pengerjaan prototipe produk secara rinci adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan tiang utama.
Tiang utama terdiri dari dua bagian. Antara satu bagian dengan bagian lain dihubungkan oleh pipa dengan ukuran yang lebih kecil sebagai sambungan.

- Pipa sambungan ini dilaskan pada tiang utama bagian atas yang sebelumnya dilubangi terlebih dahulu agar material pengisi dapat mengikat pipa sambungan. Setelah pembuatan sambungan selesai maka dilanjutkan ke pembuatan dudukan pengunci kruk. Tiang utama bagian atas dan bawah dilubangi sebanyak dua buah pada ujungnya dan kemudian mur baut dilaskan pada lubang tersebut.
2. Pembuatan bantalan ketiak dan tiang penyesuai jangkauan. Tiang penyesuai jangkauan dibuat terlebih dahulu, agar mempermudah menyesuaikan ukuran bantalan ketiak. Tiang penyesuai jangkauan menggunakan dua ukuran pipa yaitu pipa 1 inchi (25,4 mm) sebagai tiang dan pipa 1,25 inchi (31,75 mm) sebagai dudukan poros sambungan, kedua pipa ini dilas membentuk siku-siku dan begitu juga pada bantalan ketiak tetapi pengelasan dilakukan dengan ukuran yang sama yaitu 1 inchi (25,4 mm). Pembuatan komponen ini cukup sulit karena kedua komponen ini dihubungkan oleh tiga baut sejajar dan dua di antara baut dilaskan pada tiang penyesuai jangkauan sebagai tumpuan. Pembuatan lubang untuk baut ini harus tepat agar posisi bantalan sesuai rancangan dan proses memposisikan baut dapat dilakukan dengan mudah.
 3. Pembuatan tiang penyesuai ketinggian. Pada bagian ini dilakukan pengelasan pada ujung tiang sebagai tempat dudukan karet penutup ujung kruk.
 4. Pegangan kruk ini juga dibuat menggunakan pipa *stainless steel*, setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan gigi-gigi sebagai penahan agar pegangan dapat dimiringkan. Gigi-gigi pada pegangan kruk ini dibuat sebanyak 25 gigi dengan cara memotong material searah garis sumbu, jarak antar gigi adalah 2 mm, gigi-gigi pegangan ini disangkutkan pada baut yang ditanam sebanyak 25 buah pada kayu berbentuk silinder.
 5. Proses pemolesan. Proses ini bertujuan untuk merapikan hasil pengelasan dan mengembalikan warna tampilan *stainless steel* dari kerak dan noda hasil proses pengelasan.
 6. Perakitan. Tahap akhir pembuatan prototipe kruk ini adalah tahap perakitan. Langkah-langkah perakitannya adalah sebagai berikut:
 - a. Pasang busa pada bantalan ketiak lalu sambungkan ke tiang penyesuai jangkauan dengan menggunakan baut, sub rakitan ini disebut SA1.
 - b. Lapsi pegangan kruk dengan busa lalu pasang sangkutan gigi pada penahan pegangan kruk, sub rakitan ini disebut SA2, setelah itu rakit SA2 ini dengan A1.
 - c. Pasang karet penutup ujung pada tiang penyesuai ketinggian, sub rakitan ini disebut SA3.
 - d. Untuk membentuk produk jadi (kruk), maka rakit A1 dan SA3 ke tiang utama dan kunci menggunakan baut.

4.4 Pengujian hasil rancangan

Rancangan diuji menggunakan enam orang responden, baik yang pernah menggunakan kruk ataupun belum. Pengujian dilakukan dengan cara meminta responden untuk menggunakan prototipe kruk usulan dan prototipe kruk yang dibuat oleh [2] secara bergantian, kemudian diminta pendapatnya tentang kedua kruk ini.

Hal yang dibandingkan pada rancangan kruk adalah material yang digunakan, tiang utama, kenyamanan penyangga ketiak dan pegangan, sistem pengunci dan penyesuai ketinggian. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap kruk rancangan usulan dan kruk rancangan sebelumnya berdasarkan hasil kuesioner dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil kuesioner pada Tabel 3 diketahui bahwa responden lebih menyukai kruk yang diusulkan pada penelitian ini. Hasil ini mendukung hasil perhitungan secara teoritis yang menyatakan bahwa kruk rancangan ini lebih baik.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kruk Hasil Rancangan

No.	Komponen yang diuji	Jumlah pilihan Responden	
		Kruk Usulan	Kruk [2]
1	Material		
	Kualitas material yang lebih baik	6	-
	Bobot produk yang lebih ringan	5	1
2	Tiang utama		
	Kemudahan penggunaan	4	2
	Kemudahan penyimpanan	6	-
3	Penyangga ketiak dan pegangan		
	Kenyamanan yang lebih baik	6	-
4	Sistem pengunci pada penyesuaian ketinggian		
	Pengunci yang lebih baik	6	-
	Lebih mudah dalam menyetel ketinggian	4	2

**Gambar 8.** Kruk hasil rancangan

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Fokus utama dari perancangan ini adalah kruk yang praktis, ringan dan menyempurnakan rancangan [2]. Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kruk yang lebih praktis dibawa.
 - Kruk usulan memiliki ketinggian yang dapat disesuaikan oleh pengguna yaitu antara 100 cm hingga 150 cm.
 - Kruk usulan dirancang dengan tiang utama yang bisa dilepas menjadi dua bagian sehingga kruk lebih praktis dan mudah untuk dibawa dan disimpan di tempat yang terbatas.
 - Penggantian material dari baja karbon ke *stainless steel* dapat mereduksi volume penggunaan material sehingga kruk usulan lebih ringan daripada rancangan [2].

Kruk yang diusulkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

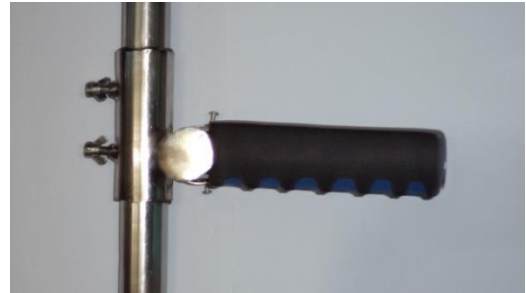
**Gambar 9.** Kruk saat tiang utama dipisahkan

2. Penutup ujung bawah kruk tidak licin dan tidak mudah rusak. Perubahan rancangan pada karet penutup bawah kruk berfungsi dengan baik dan tidak mengalami kerusakan saat dilakukan pengujian, lihat Gambar 10.



Gambar 10. Penutup ujung kruk rancangan usulan

3. Ketinggian kruk usulan dapat disesuaikan dengan mudah. Sistem penguncian kruk untuk penyesuaian ketinggian dapat memenuhi keinginan pengguna berdasarkan hasil pengujian.
4. Kemiringan pegangan kruk dapat disesuaikan sehingga posisi pergelangan tangan lebih baik.



Gambar 11. Bantalan alas dan pegangan kruk

Perbandingan antara hasil rancangan kruk usulan dengan kruk rancangan [2] dapat dilihat pada Tabel 3. Kruk rancangan usulan ini juga memiliki beberapa kekurangan seperti sudut kemiringan pegangan kruk yang masih belum mencapai kemiringan optimal sebesar 12° dan pegangan kruk ini masih belum dibaut sehingga mudah lepas, sedangkan pada pengunci kruk belum dapat bekerja dengan baik karena responden merasa agak susah melakukan penguncian karena harus memutar baut. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari mekanisme penguncian yang lebih baik.

Tabel 4. Perbandingan Kruk Rancangan

Faktor pembandingan	Kruk Rancangan [2]	Kruk Usulan
Material	Pipa Baja Karbon	Pipa <i>Stainless Steel</i>
Kekuatan material	205 MPa	397 MPa
Bobot	1,75 Kg	1,25 Kg
Panjang tiang utama	120 cm	50 cm dan 45 cm
Panjang kruk	Panjang maksimal 141 cm Panjang minimal 120 cm	Panjang maksimal 150 cm Panjang minimal 100 cm
Karet penutup ujung bawah	Rusak saat mendapat tekanan dari berat badan pengguna	Tahan terhadap tekanan pengguna berat badan pengguna
	Licin	Tidak licin
Pegangan kruk	Kaku, 90°	Bisa disesuaikan, rasio penyesuaian kemiringan $14,4^\circ$
Busa bantalan alas dan pegangan	Busa dilapisi kulit sintetis	Busa
	Butuh tenaga ahli untuk mengganti	Lebih mudah untuk pengantian
Sistem pengunci	Baut sebagai pasak. Lebih praktis. Ketinggian kruk sudah ditentukan berdasarkan lubang.	Baut sebagai penjepit. Menyulitkan dalam penggunaan. Ketinggian sesuai kebutuhan pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitriadi, Taufik. (2008). *Perancangan Alat Bantu Jalan (Kruk) Yang Praktis Dan Ergonomis Dengan Menggunakan Software Catia*. Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- [2] Chandra, G.E.P. (2011). *Perancangan Alat Bantu Jalan Kruk Bagi Penderita Cedera Dan Cacat Kaki*. Universitas Andalas. Padang.
- [3] McFall, B., N. Arya., C. Soong., B. Lee., R. Hannon. (2004). Crutch Induced Axillary Artery Injury. *The Ulster Medical Journal*, Volume 73, No. 1, pp. 50-52.